动作操作促进联结记忆的认知神经机制*

赵敏芳[1] 傅小兰[2,3]

（1 惠州学院教育科学学院，惠州 516007；2 中国科学院心理研究所，脑与认知科学国家重点实验室，北京 100101；3 中国科学院大学心理学系，北京 100049）

摘 要 研究发现，相比语词任务（VT），动作操作任务（SPT）可以促进随后的记忆，此现象被称为 SPT 效应或操作效应。以往关于动作操作促进记忆的证据多集中在项目记忆，最近的研究首次发现动作操作也能促进动作与物体的联结记忆。本研究拟综合使用 ERP、眼动和两者同步技术，结合线索再认、联结再认与情景启动范式，考察 SPT 与 VT 条件下动作与物体的联结记忆的行为、眼动和神经活动差异，以期探究动作操作促进联结记忆的认知神经机制。本研究将深化动作记忆 SPT 效应和整合对联结记忆的作用的认识，推动联结记忆、动作记忆等领域的研究，为改善人类学习与记忆特别是联结记忆提供科学依据。

关键词 动作记忆；联结记忆；动作操作；SPT 效应；记忆提取

分类号 B842.3

1 引言

学习与记忆作为大脑最基本最重要的高级认知功能之一，一直是心理学研究的热点，也是现代神经科学最难解决的问题之一。每天，我们经历着一系列动作事件并且需要记住自己是否已经做过某件事（Zimmer et al., 2007）。例如，在出门之前，需要记得是否已经关闭了煤气。具体而言，有时候我们不仅要记住某个动作事件的动作（如，“锁”），还要记住动作所操作的物体（操作对象）（如，“转向系统”）。例如，一个飞机维修工程师需要对飞机的不同部分操作不同的动作，他/她必须清楚地记得对飞机的不同部分做过什么样的动作。一旦记忆出错可能会导致飞机事故甚至严重的生命损失。因此，探究做过的动作的联结记忆不仅有助于回答记忆是如何被存储和提取的这一重要科学问题，还具有重大的实际应用意义。

研究发现相比语词编码，动作操作编码可以促进随后的记忆，此类现象被称为 SPT 效应

*基金项目：国家重点研发计划课题（2018AAA0100205）；国家自然科学青年科学基金项目（31700955）；广东省哲学社会科学“十三五”规划项目（GD17CXL03）；中国国家自然科学基金国际（地区）合作与交流项目（NSFC61621136008/DFG TRR-169）。

通讯作者：赵敏芳 Email: minfang_zhao@foxmail.com

（self-performed task effect, SPT effect）或操作效应（enactment effect）（Cohen, 1981; Engelkamp, 1998; McDaniel & Bugg, 2008; Nilsson, 2000; Roediger & Zaromb, 2010; Zimmer & Cohen, 2001）。然而，以往关于动作操作促进再认记忆的证据多集中在项目记忆，与生活息息相关的动作联结记忆是否也可以从动作操作中获益则仍未清楚。直到最近，研究首次发现动作操作也能促进动作与物体的联结记忆（Zhao et al., 2016）。人类对动作相关信息的记忆优势可能源于人类长期适应环境的结果，自然选择法给人类记忆系统设计的一项重要机能就是优先记住与生存相关的信息（周宗泽等, 2013）。动作记忆作为一种特殊的记忆，是与日常生活紧密相关的重要心理过程，对人类生存发展有举足轻重的作用（Foley & Ratner, 2001）。因此，探索动作操作促进联结记忆的认知神经机制对全面深刻理解人类学习与记忆的内在机制十分重要。本研究拟探究动作操作促进联结记忆的认知神经机制，将联结记忆与动作记忆进行交叉研究，为联结记忆、动作记忆等领域的研究开辟新的思路，为改善人类学习与记忆提供科学依据。

2 国内外研究现状

迄今为止，已有大量关于联结记忆与动作记忆的研究文献。但是，由于动作记忆与联结记忆领域研究的关注点和出发点不同，较少研究结合联结记忆与动作记忆两个领域进行交叉研究并关注动作操作对联结记忆的影响（Zhao et al., 2016）。本项目将考察动作操作促进联结记忆的认知神经机制，当前与本项目较为相关的研究主要体现在：1）联结记忆领域：整合编码对联结记忆的影响（e.g., Bader et al., 2010; Yonelinas, 2002; Zheng et al., 2016; 刘泽军等, 2019; 律原等, 2015; 赵敏芳, 2015; 郑志伟等, 2015）。2）动作记忆领域：SPT 动作操作对项目特异性信息的影响以及动作操作带来的整合（e.g., Engelkamp & Jahn, 2003; Engelkamp et al., 2004; Engelkamp et al., 2005; Feyereisen, 2009; Kormi-Nouri, 1995; Kormi-Nouri & Nilsson, 1998; Mecklenbräuker et al., 2011）。两个领域相关的研究热点都涉及“整合”这个关键词，下文将以此为交叉点进行两个领域相关研究文献的梳理并阐述近年针对动作操作对联结记忆的影响所做的初探性的工作，最后指出仍待解决的一些问题并提出具体的研究构想。

2.1 联结记忆

情景记忆是对过去某个时间与地点发生的事件的记忆（Tulving, 1985）。情景记忆可划分为项目记忆（item memory）和联结记忆（associative memory），项目记忆是对单个项目的记忆，而联结记忆是对关系信息的记忆，因而有研究者称之为关系记忆（relational memory）（Cabeza, 2006）。考察联结记忆的常用实验范式包括联结再认任务和来源记忆任务。在典

型的联结再认任务中，学习阶段要求被试学习配对呈现的刺激，测验阶段要求被试区分两种类型的项目对：学习过的“旧”（intact）项目对和“重组合”（recombined）项目对（由两对学习过的项目对的构成项目重新组合而成）。来源记忆任务，学习阶段要求被试学习项目以及与之对应的背景信息（如，颜色，形状等），在测验阶段，被试需要提取与学习过的旧项目相关联的背景信息。

情景记忆的双加工理论（dual process model）认为，情景记忆由熟悉性（familiarity）以及回想（recollection）两个不同的加工过程所支持（Jacoby, 1991; Yonelinas, 2002）。熟悉性指人们遇到某个见过或学习过的事物的知道感（feeling of knowing），一种相对自动化的加工，但不能对情景细节进行提取；而回想是对情景细节（如关系信息）的提取，一种相对缓慢且依赖于注意资源的加工。以往大量的事件相关电位(Event-related Potentials, ERP)研究证据表明熟悉性和回想对应两个本质上分离的新旧效应（old-new effect）（e.g., Mecklinger, 2000; Rugg & Curran, 2007; Zimmer & Ecker, 2010）。新旧效应指的是正确再认“旧”项目的 ERPs 要比正确拒绝“新”项目的 ERPs 波形有更正的趋势。与熟悉性相关的新旧效应出现在测试刺激呈现大约 300-500 ms 后，典型分布在额区皮层，通常被称之为[1]早期额区新旧效应（early frontal old-new effect，FN400）。与回想相关的新旧效应出现在测试刺激呈现大约 500-800 ms 后，典型分布在顶区皮层，通常被称之为晚期顶区新旧效应（late parietal old-new effect，LPC）。双加工理论认为项目记忆和联结记忆涉及不同的认知加工过程。项目记忆任务既可以通过熟悉性来完成，也可以通过回想完成；而联结记忆只能通过回想来实现（Yonelinas, 2002）。已有 ERP 研究和脑成像研究支持了这一观点。ERP 研究发现，项目再认任务可同时观察到与熟悉性相关的早期额区新旧效应和与回想相关的晚期顶区新旧效应；但是，联结再认任务仅出现了与回想相关的晚期顶区新旧效应(e.g., Donaldson & Rugg, 1998, 1999)。功能磁共振成像(fMRI)研究发现，与项目记忆相比，联结记忆任务的编码和提取更强地激活对回想起关键作用的海马区(hippocampus)(e.g., Addis et al., 2014; DeMaster et al., 2013; Giovanello & Schacter, 2012; Troyer et al., 2012)。脑损伤研究发现，因海马区损伤导致回想受损但是熟悉性相对保留的遗忘症患者，其联结记忆成绩显著地下降，但是项目记忆成绩则保持稳定(e.g., Holdstock et al., 2005; Mayes et al., 2007; Opitz, 2010)。以上研究结果一致表明回想对联结记忆起着关键的作用。因此，以往很多研究者将联结记忆和项目记忆任务进行直接比较以分离考察回想和熟悉性的认知神经机制(e.g., Diana et al., 2007)。

[1]关于额区新旧效应所指示的意义，有研究者认为该新旧效应反映的是内隐的概念启动（conceptual priming），而不是熟悉性，请参考 Paller, Voss, & Böhm, 2007；郭春彦、高传吉和李兵兵（2013）等相关论述。

然而，最近的研究表明熟悉性在一定的条件下也能够支持联结再认（Aly et al., 2010; Bader et al., 2010; Rhodes & Donaldson, 2008; Yonelinas et al., 1999; Zhao et al., 2016; 刘泽军等, 2019; 律原等, 2015; 赵敏芳, 2015）。在这些条件下，学习阶段两个项目能够加工为一个整体的单元，这样的条件涉及整合（unitization）。整合是指两个或多个分离的项目被编一、整体的单元的过程（Graf & Schacter, 1989）。整合是否能发生依赖于编码阶段项目被加工的方式，整合得以实现的方式可以分为两大类：自下而上或者自上而下的认知加工（Tibon et al., 2014）。自下而上的整合利用项目之间实验前已存在的语义或者/以及知觉关系，例如，实验前已存在的主题（thematic）语义关系的两个单词（如，dancer-stage）具有整合性的特征（Kriukova et al., 2013），又或者是正立面孔的特征之间存在整合性（Zhao et al., under review）。自上而下的整合则是实验参与者根据实验指导语将不相关的项目加工为一个单独的整体（高整合条件）或者相同情景下的独立成分（低整合条件）。例如，通过交互表象法(interactive imagery)将两个不相关的单词（如，小提琴-苹果）对应的物体想象为一个两个物体交互的画面（Rhodes & Donaldson, 2008），或者是通过一个定义性的句子把不相关词对编码为一个新的概念，形成一个整合的表征（如，“cloud-lawn”/云彩-草地，A yard used for sky-gazing”/“一块凝望天空的场地”）（Bader et al., 2010）。这些 ERP 研究一致地发现，在整合条件下，熟悉性相关的新旧效应也能够参与联结记忆的提取过程。因此，近年越来越多的研究者认为，当项目对或多个项目被编码为一个整体的表征时，熟悉性也能够支持项目之间关系的记忆，此假设又被为整合假设（unitization hypothesis）（Yonelinas, 2002; 刘泽军等, 2019; 郑志伟等., 2015）。最近的研究（Zhao et al., 2016）结合动作记忆领域的 SPT 编码进一步验证并支持了情景记忆领域的整合假设，发现在动作操作条件下熟悉性可以支持动作与物体的联结再认的提取。

2.2 动作记忆

在实验室里，研究者使用被试操作任务（subject-performed tasks, SPT）范式对动作记忆进行研究。实验者向被试以视觉或听觉形式呈现一系列简单的动名词短语(如,“捡起钢笔”)，SPT 条件下要求被试执行相应的操作任务。与之对照的条件一般为语词任务（verbal task, VT），VT 条件下被试被告知尽可能地识记所呈现的动名词短语，但不需要被试进行动作操作。编码任务完成后对被试进行回忆（recall）或再认（recognition）测试。以往大量研究发现，在 SPT 条件下随后的记忆测试的成绩显著优于 VT 条件下的记忆成绩，此类现象被研究者称之为 SPT 效应或操作效应(enactment effect)(Cohen, 1981; Engelkamp, 1998; McDaniel & Bugg, 2008; Nilsson, 2000; Roediger & Zaromb, 2010; Zimmer & Cohen, 2001)。

SPT 效应的显著性与相对稳定性引起了研究者的关注，近 30 多年来，研究者聚焦于 SPT 效应的产生机制并围绕 SPT 编码的特性而展开研究，相继提出非策略（non-strategic）加工理论（Cohen, 1981）、多通道（multimodal and rich encoding）加工理论（Bäckman & Nilsson, 1984）、动作编码（motor encoding）理论（Engelkamp & Zimmer, 1984; Zimmer & Engelkamp, 1985）和情景整合（episodic integration）理论（Kormi-Nouri, 1995; Nilsson & Kormi-Nouri, 2001）以解释 SPT 效应。这些理论均被一些研究所支持的同时也被一些研究所挑战。近年，来自神经学的研究在一定程度上支持单独的动作编码系统的存在。例如，正电子发射断层技术（PET）的研究表明 SPT 条件比 VT 条件再认时在大脑的顶叶区域发现了更大的脑区激活（Nyberg et al., 2001）又或是脑磁图（MEG）的研究表明在 SPT 条件（而非 VT 条件）再认的早期窗口的初级运动区被激活（Masumoto et al., 2006）。近年，国内研究者也开始关注动作记忆并针对 SPT 效应的内在机制进行了系统性研究。例如，王丽娟等（2014）综述了动作记忆 SPT 效应的相关理论（王丽娟 & 李广政, 2014a, 2014b），其团队从行为学角度针对 Zimmer 等（2000）提出的自动突显机制做了进一步探究（李广政 & 王丽娟, 2016），又从发展的角度考察了动作操作和物体呈现对儿童前瞻记忆的影响（Li & Wang, 2015），加深了 SPT 效应的编码与提取机制的理解。但是，至今仍没有一个成熟的理论能够全面解释 SPT 编码的特性或是 SPT 效应的产生机制（李广政等，2018)。此外，针对 SPT 效应机制的研究多局限于行为学方法，有必要从神经机制方面作为新的切入点突破现有瓶颈。

尽管对于 SPT 效应的理论解释至今仍存在争议，但是，目前研究者最广泛认可的 SPT 效应的解释是：动作操作可以提供充足的项目特异性信息（item-specific information）能使得动名词短语之间更有区分性（Zimmer & Cohen, 2001）。项目特异性信息通常使用项目记忆任务的新旧判断进行测量，项目记忆不需涉及动作的具体信息或是所使用物体的具体信息。目前，仅有几个研究探究了动作操作是否可以增强动作与物体的关系信息。例如，Engelkamp 和 Perrig（1986）的研究表明动作操作可以促进动作与物体的整合。此外，Kormi-Nouri 和 Nilsson 认为动作操作可以促进动作事件的整合，随后通过对比关联程度高或低的动作与物体配对短语在自由回忆或线索回忆任务的 SPT 与 VT 差异进行了间接的验证（Kormi-Nouri, 1995; Kormi-Nouri & Nilsson, 1998）。其中，较有说服力的证据来自于 Steffen 团队的研究发现，表明动作操作可以促进多层模型的联结系数的整合（Steffens et al., 2009; Steffens et al., 2006）。

简而言之，大部分研究者认同 SPT 条件下的动作操作加强项目特异性加工，同时促使动作事件中的动作与物体被整合为一个独特的记忆表征（Zimmer, 2001）。例如，如果动名

词短语是“切蛋糕”，相比对动名词短语进行语词编码（VT 编码），对物体“蛋糕”执行“切”这个动作（SPT）能形成一个更为独特的记忆表征。在 SPT 条件下，一个动作事件中的动作与物体被捆绑起来：“切”这个动作是“西瓜”的一个属性，而“西瓜”成为“切”这个动作的一部分。因此，不仅在项目记忆任务，而且在动作事件的动作与物体之间的联结记忆任务，SPT 条件下的记忆成绩也应该显著优于 VT 条件。此外，因为在 SPT 与 VT 条件下被试使用不同的信息（例如，动作信息 vs.词汇信息）进行记忆（Engelkamp et al., 1993），所以，在 SPT 与 VT 编码后的记忆提取过程可能涉及不同的记忆加工。换而言之，SPT 编码促使动作与物体的可整合性应该对人们如何再认动作产生影响。具体而言，动作操作可能改变熟悉性与回想两种记忆加工过程对再认记忆提取的贡献。

首次试图探讨 SPT 与 VT 编码后熟悉性与回想对再认记忆贡献的研究（Engelkamp & Dehn, 1997）发现，相比 VT，SPT 编码后的项目再认提取中对判断为“旧”的项目有更多的“记得”判断。“记得/知道”判断（Remember/Know judgments, R/K 判断）的“记得”判断与回想相关，而“知道”判断与熟悉性相关（Tulving, 1985）。因此，他们认为再认的 SPT 效应主要源于 SPT 编码后提取过程回想得到了加强（Engelkamp & Dehn，1997）。然而，R/K 判断描述的是再认的最终状态，并不描述再认的加工过程。由于“记得”和“知道”判断是“二择一”的迫选，因此，两者在 R/K 判断这样的行为指标上是互斥的。然而，回想与熟悉性两个加工过程不是互斥的（Yonelinas, 2002），因此被判断为“记得”的项目并不能排除熟悉性也参与其中或是熟悉性程度有所不同。此外，值得注意的是，实验要求被试在能够提取对项目相关的情景信息时，对项目做“记得”判断。对于操作过的动作短语，被试很可能提取“我做过这个动作”这类情景信息并将这些 SPT 编码过的动作短语判断为“记得”。这样的“记得”判断只能涉及相对粗糙的记忆并且不需要动作与物体的捆绑信息。因此，仅“记得”判断的比例增强并不能作为 SPT 编码后动作与物体的关系信息的回想增强的证据。

尽管鲜有研究探讨熟悉性与回想加工在动作相关的联结记忆的作用，以往关于动作记忆的 ERP 研究对动作记忆的提取加工过程提供了一些启示。在一项项目再认的 ERP 研究中，Heil 等人（1999）观察到动作再认的新旧效应，这些新旧效应通常报告于使用词汇或其他刺激的项目记忆研究中（Heil et al., 1999）。在来源记忆研究中，让被试区分动作短语项目在学习阶段是操作过的还是由其他方式加工的（如，想象过的）。大部分研究发现，相比其他编码方式，自身操作过的动作的来源记忆成绩更高（Leynes & Bink, 2002; Leynes et al., 2005; Leynes et al., 2006; Leynes & Kakadia, 2013; Senkfor, 2008; Senkfor et al., 2002, 2008）。其中一些研究在测试中没有包含新项目（Senkfor, 2008; Senkfor et al., 2002），因此，并不能分析记

忆的新旧效应。其他包含新项目的研究通常观察到操作过的动作诱发了与回想相关的晚期顶区新旧效应（Leynes & Bink, 2002; Leynes et al., 2005; Leynes et al., 2006; Leynes & Kakadia, 2013; Senkfor et al., 2008）。然而，这些研究并没有聚焦于动作操作对熟悉性的影响，特别是熟悉性是否也能促进动作相关的联结记忆。

2.3 动作记忆与联结记忆的交叉研究

如前所述，目前 SPT 效应的研究证据多集中在项目记忆或回忆任务，鲜有研究探讨动作操作是否也能促进联结记忆，而且 SPT 动作操作到底如何改变人们对联结记忆的提取过程尚不清楚。最近的一项研究通过联结再认范式结合 ERPs 技术对比了 SPT 与 VT 条件下的动作与物体的联结再认提取的行为表现及脑电差异，初次探讨了动作操作对联结记忆的影响（Zhao et al., 2016）。学习阶段，被试使用 SPT 或 VT 编码学习一系列动词与物体构成的配对日常短语（如，“关窗户”）。测试阶段，被试需要区分相同、重组合与新配对短语并且做“记得/知道”判断。“重组合”短语是由学习过的一个短语的动词与另一个短语的名词重新配对而成。行为结果发现，SPT 条件下被试的联结再认成绩显著高于 VT 条件下被试的联结再认成绩。此外，相比 VT 条件，SPT 条件的被试更多地将重组合短语判断为“记得”。脑电结果发现，SPT 条件的早期额区 ERPs 信号随测试短语的匹配程度而呈现阶梯变化（相同>重组合>新 ERPs），而此效应未出现在 VT 条件，表明在 SPT 而非 VT 条件下，熟悉性加工可以支持动作与物体的联结再认。相似地，SPT 条件的晚期顶区 ERPs 信号也随测试短语的匹配程度而呈现阶梯变化。但在 VT 条件下此效应更小，并且相同与重组合短语未表现出显著的 ERPs 差异（相同=重组合>新 ERPs），表明在 SPT 与 VT 条件下回想均支持联结再认，但仅在 SPT 条件下出现的相同与重组合短语的 ERPs 分离，这可能与本人对操作过的动作的记忆相关。该研究首次发现动作操作也可以促进联结记忆，并且直接支持动作操作可以促进动作与物体的整合，从而促使在 SPT（而非 VT）条件下熟悉性能够支持联结再认，并且在 SPT 条件下回想对联结信息的匹配程度更为敏感。该研究从情景记忆双加工理论的角度探讨了动作相关的联结记忆提取的加工过程及其对应的脑电机制，为 SPT 效应提供了新证据，提示动作操作可能是提升联结记忆的一种重要的辅助手段。

最新的研究(赵敏芳等, 2020)进一步考察动作与物体的联结程度对联结再认的 SPT 效应的影响。该研究考察在 SPT 与 VT 条件下识记日常动作短语（如“切蛋糕”）和怪异动作短语（如“钟锤子”）的联结再认提取的表现差异。结果发现，仅在 VT 而非 SPT 条件，怪异动作短语的联结再认成绩显著高于日常动作短语的成绩。当对怪异动作短语做联结再认判断时，SPT 条件与 VT 条件成绩无显著差异；但对日常动作短语做联结再认判断时，SPT 条件

的联结再认成绩显著高于 VT 条件的成绩(赵敏芳等, 2020)。进一步的 ERP 研究表明动作操作和怪异性通过促进熟悉性和回想提升联结记忆，但是两者不能对联结记忆产生叠加的促进作用。

3 研究构想

综上所述，尽管动作领域 SPT 效应的研究已经取得了大量成果，但是较少研究直接探究动作操作对联结记忆的影响及其认知神经机制。近年虽然针对动作操作对联结记忆的影响进行了初探（Zhao et al., 2016; 赵敏芳, 2015; 赵敏芳等, 2020），尽管如此，关于动作操作促进动作与物体的联结记忆的产生机制还有许多悬而未决的问题。

3.1 动作编码信息对动作与物体的联结记忆的作用

首先，如前文所述，目前研究者最广泛认可的 SPT 效应的解释是：SPT 条件下的动作操作加强项目特异性加工，同时促使动作事件中的动作与物体被整合为一个独特的记忆表征（Zimmer & Cohen, 2001）。但是，关于这个假设，仍有一个重要的问题未被直接验证：粘合动作的各个成分的“胶水”到底是什么？即：动作的构成成份（动作与物体）的整合机制是什么？关于这个问题，Kormi-Nour 与 Nilsson 提出的情景整合理论(Kormi-Nouri, 1995; Nilsson & Kormi-Nouri, 2001)，假设 SPT 动作操作可以促使项目内的整合（within-event integration），即动名词短语中动词与名词之间的整合。Kormi-Nour 与 Nilsson 假设这个“胶水”是动作与物体，例如，对于动作短语“切蛋糕”，“切”与“蛋糕”被捆绑在一起。一种可能性是动作操作可以促进动作事件情景的叙述与定义。在实验室里，动作操作将所有事件分割成单独的碎片，这样的分割会促使每个项目的记忆表征更为独特，因此动作操作可以促进记忆表征的生成。当然，也有一种可能是动作操作可以引导知觉，从而可以间接地促进记忆成份的整合。但是，至今仍未有研究验证过这个假设。

然而，也有可能是动作操作不仅可以加深对情景的定义，还可以直接地促进记忆表征的产生。动作操作可能积极地将动作所涉及的各个部分捆绑在一起。在动作操作时被激活的动作编码（motor program）或者动作模式（action schema）(Norman, 1981)可能存在整合的能力。Zimmer 假设动作编码是整合动作成分的“胶水”（Zimmer, 1986; Zimmer, 2001）。动作执行时通过激活动作编码或者动作模式（action schema）而可聚焦于加工动作所涉及的成分（例如，物体）。例如，“拿起某个东西”的动作计划中存储了某个物体，当动作被执行的时候，动作参数需要根据具体操作的物体的特征进行调整。根据这个观点，实验前已存在的动作编码可提供捆绑动作与物体的“胶水”，从而促使动作操作增强动作与物体的关系（Zhao et al., 2016）。Kormi-Nour 与 Nilsson 提出的情景整合理论并没有与 Engelkamp 与 Zimmer 提

出的动作编码理论相悖（Zimmer, 2001）。因为前者强调的是动作操作的结果——整合，后者强调的是什么（动作编码）促进了整合，即：整合可以被理解为学习阶段动作操作过程中动作编码被激活的一种效应。因此，本研究将针对动作编码是否对动作与物体的整合及联结记忆起重要作用进行直接的验证，从而帮助揭示动作操作促进动作与物体的联结记忆的内在机制。本研究使用眼动技术探究动作信息是否对联结记忆的 SPT 效应起关键作用，考察 SPT 与 VT 条件下进行动作与操作工具的联结学习后对工具联结提取的行为、眼动和脑电差异。如果动作编码信息是影响联结记忆的关键因素，那么对学习阶段使用过的工具进行联结再认选择时，工具之间的动作相似性会干扰 SPT 条件而非 VT 条件；相反，工具之间的动作差异性则会促进 SPT 条件而非 VT 条件。这不仅应该反映在行为学指标，也应该反映在眼动指标（如首次注视点、注视时间、眼跳）的差异。

3.2 动作与物体的关联程度对两者联结记忆 SPT 效应的影响

如上文所述，Zimmer（2001）认为实验前已存在的动作编码可以提供捆绑动作与物体的“胶水”。早先的研究所使用的日常动作-物体配对（如，“切西瓜”）存在实验前的动作编码，结果支持了这一假设，表明动作操作能够促进动作与物体的联结记忆（Zhao et al., 2016）。那么，假如学习的是实验前动作编码并不存在的动作-物体配对短语，动作操作是否还能促进动作与物体的联结记忆？根据 Engelkamp 与 Zimmer 的观点，动作编码来源于日常生活的经验，日常常见的动作会有一套动作编码或模式储存在大脑，相关的动作编码一旦被激活，那么与动作捆绑的物体也会被激活。因此，如果相对生疏的不常做的动作，动作操作可能并不会促进动作与物体的关系的联结记忆，也就是 SPT 效应不存在或变小。以往使用线索回忆任务的研究中却得到相反的结果（Kormi-Nouri & Nilsson, 1998），研究发现识记动作与物体关联性低的动作短语（如，“看石头”）比识记动作与物体关联性高的动作短语（如，“看电视”）存在更大的 SPT 效应。然而，最新的一项研究（赵敏芳等，2020）发现，动作与物体实验前不存在关联的怪异动作短语（如，“种锤子”）比动作与物体关联性高的日常动作短语的 SPT 效应更小，这一结果支持了 Zimmer 与 Engelkamp 的动作编码假设。但是，Kormi-Nouri 等人使用的是动作与物体关联性低但并不怪异的动作短语（如，“看石头”），而赵敏芳等人使用的是关联性极低的怪异配对短语（如，“切衣服”），因此并不能排除怪异性对记忆的影响（Hunt & Einstein, 1981; McDaniel & Bugg, 2008）。尽管如此，这些结果均表明了动作与物体实验前存在的关联程度会影响 SPT 效应。因此，本研究也将使用脑电技术进一步探讨动作与物体的实验前存在的关联程度对两者联结记忆的影响，结合联结再认范式考察 SPT 与 VT 条件下动作与物体关联程度高与低的联结再认的行为反应时、正确率和脑电

的差异。如果动作与物体间存在实验前较强的关联性是动作操作整合动作与物体从而促进联结记忆的重要因素，那么在学习不同关联程度的短语条件下应该表现出行为和脑电的差异。相比关联性高的日常动作短语，在关联性低的短语条件下 SPT 与 VT 条件的联结再认成绩之间的差异更小，也就是 SPT 效应会变小。FN400 可能仅出现在动作与物体关联性高（而非低）的短语的联结再认。

3.3 动作与物体的联结记忆 SPT 效应是情景效应还是语义效应？

以往的研究实质上难以区分语义记忆与情景记忆。尽管被试可能不记得实验当时的情景（情景记忆），但可以使用实验前已存在的动作与物体的关联（语义记忆）进行判断。Kormi-Nouri 认为整合包含语义整合和情景整合两种类型：语义整合关心的是实验材料中的动词和名词，在实验之前个体所获得的语义上的相关，如“切西瓜”中的“切”和“西瓜”本身存在的语义上的关联。而情景整合则是实验者的动作执行过程所带来的整合。语义整合和情景整合共同作用产生了 SPT 效应(Kormi-Nouri, 1995)。然而，支持这一假设的实证研究结果是模棱两可的。在线索回忆任务中，Kormi-Nour 与 Nilsson 的研究发现相比动词与名词关联程度高的项目（如，“看电视”），动词与名词关联程度低的项目（如，“看石头”）存在更大的 SPT 效应(Kormi-Nouri & Nilsson, 1998)。但是，对于关联程度高的项目的学习，无论使用 SPT 还是 VT 编码方式，被试的记忆成绩都非常高（天花板效应），所以该研究结果仍需谨慎对待。相反，最新的研究发现，动作与物体关联性高的日常动作短语的 SPT 效应比动作与物体关联极低的怪异动作短语（如，“种锤子”）的 SPT 更大（赵敏芳等, 2020）。当然，两个研究使用的短语类型不一样，也可能是结果不一致的原因。总体而言，目前研究仍没有直接验证动作操作到底是促进了实验时的动作与物体的情景整合还是加强了实验前已存在的动作与物体的语义整合。因此，本研究的一个重要目的是探究动作与物体的联结记忆的 SPT 效应是新习得联结的情景效应还是额外的实验前语义效应。为了探究这一问题，本研究首先使用脑电技术，比较 SPT 与 VT 条件在以动词作为启动的物体联结再认中不同启动-目标关系条件下的的行为表现与 ERPs 成分的差异以试图分离情景启动与语义启动。如果动作与物体的联结记忆的 SPT 效应是一种新习得联结的情景效应而非额外的语义效应，那么 SPT 与 VT 条件下存在不同类型的启动效应：仅在 SPT 条件而非 VT 条件下的启动任务中 FN400 对联结信息较为敏感，不同启动-目标关系类型条件下的 EPRs 波形呈现梯级变化；语义启动的动词应该调节语义相关的 N400，而情景启动的动词应该影响分布在额区的熟悉性相关的 FN400。

眼动技术与脑电技术的结合与同步近年引起科学家的关注，结合脑电与眼动技术的优

势，被认为能够较好地分离刺激加工的不同阶段，是直接观测与追踪记忆的加工过程的有效方法（Liesefeld et al., 2016）。本研究将通过眼动和脑电同步技术进一步考察 SPT 与 VT 条件下联结学习后物体再认时的脑电晚期成分（LPC）、眼动注视行为（注视时间、首次注视点等）和行为表现的差异。如果 SPT 动作操作增强的是特定物体与动作的情景整合而非特定物体的语义整合，那么相比 VT 条件，SPT 条件下联结提取中使用过的“相同”物体的感兴趣区域（ROI）的注视时间应该更长，而且表现出首次注视点的差异。此外，以动作为线索的物体联结提取中应该诱发与回想相关的脑电成分 LPC，物体的 LPC 潜伏期应该根据物体变化程度呈现梯级变化，通过脑电与眼动的同步技术，预期 LPC 的诱发最初应该出现在被试刚好注视到使用过的“相同”物体的时候。

3.4 动作操作是否缓解老年人动作与物体的联结记忆缺陷？

以往研究表明，相比年轻人，老年人的联结记忆能力出现显著的衰退，此类老化现象被称为联结缺陷（associative deficits），这可能由老年人的回想加工受损以及未积极使用策略性编码方式所致（e.g., Naveh-Benjamin, 2000; Old & Naveh-Benjamin, 2008）。由于老年人的熟悉性加工保持相对完整，如果动作操作是通过促进熟悉性从而提升动作与物体的联结记忆（Zhao et al., 2016），那么 SPT 条件下的动作操作是否可以缓解老年人在动作与物体的联结记忆缺陷？因此，本研究最后通过行为与 ERPs 技术将在老年人群中进行应用与验证，以帮助揭示动作操作促进动作与物体的联结记忆的认知神经机制。探讨动作操作对联结记忆的影响是很重要的问题，尤其对于健康的老年人而言，由于认知能力和大脑功能均有一定的可塑性，认知训练已经被证明可以提升老年人各方面的认知能力（Li et al., 2014）。动作操作作为一种整合编码，有望可以减少老年人的联结缺陷，改善其社会功能，从而提高人们的生活质量。

本研究使用行为与脑电技术比较老年人与年轻人在 SPT 与 VT 条件下动作与物体的联结再认的行为和脑电差异，旨在考察动作操作是否可以缓解老年人动作与物体的联结记忆缺陷。如果动作操作是通过促进熟悉性从而提升动作与物体的联结记忆，那么，SPT 条件下的动作操作应该可以缓解回想受损但熟悉性保持完整的老年人的联结记忆缺陷。相比 VT，SPT 条件下老年人与年轻人在联结再认的正确率的差异应该变小，即联结缺陷得到缓解。仅在 SPT 而非 VT 条件下老年人与年轻人一样在联结再认的早期窗口可观察到显著的熟悉性信号 FN400。由于老年人回想加工受损，在两个编码条件下的老年人组可能均观察不到显著的回想信号 LPC。

4 总结

尽管前人已经对动作操作的 SPT 记忆优势效应或是整合编码对联结记忆的作用进行了大量研究，但忽略了动作操作对联结记忆的作用。本研究综合使用眼动技术、脑电技术和两者同步技术，结合启动范式、线索再认范式与联结再认范式，通过系统探讨 SPT 与 VT 条件下动作与物体的联结记忆的行为、眼动和神经活动差异，探查动作操作促进动作与物体的联结记忆的产生机制，阐释其心理学意义和生物学基础，旨在揭示动作操作促进动作与物体的联结记忆的认知神经机制。最后，我们也将在老年人群中进一步验证动作操作对动作与物体的联结记忆的影响，为缓解老年人的联结记忆缺陷提供科学证据。

本研究借助脑电技术内在加工的高时间分辨率以及眼动的外显观测两者的优势，分离情景效应与语义效应，为解决长久以来关于 SPT 效应理论解释的争议提供了新的研究思路，通过深化动作记忆 SPT 效应和整合对联结记忆的作用的认识，推动联结记忆、动作记忆领域的研究，有利于对两个记忆领域的理论进行相互补充，从而推动各自理论模型的构建与完善。本研究将为 SPT 效应的产生机制以及动作操作如何影响人类联结记忆提供重要的启示，进而为老年人和遗忘症病人等特殊人群提供一种可行的记忆辅助手段或者认知干预方式，也可以为教学方法的改进提供一定的帮助，为改善人类学习与记忆提供科学依据。

参 考 文 献

郭春彦, 高传吉, & 李兵兵. (2013). FN400 效应: 外显记忆测量中的概念启动加工. *心理科学进展, 21*(09), 1521-1530.

李广政, 林文毅, & 王丽娟. (2018). SPT 效应的编码机制:项目特异性与项目关联性信息. *心理科学，41*(2), 292-297.

李广政, & 王丽娟. (2016). SPT 效应的自动突显机制:来自输出监测的证据. *心理学报, 48*(3), 238-247.

刘泽军, 王余娟, & 郭春彦. (2019). 从整合的角度看联结记忆中的项目再认. *心理科学进展, 27*(3), 114-122.

律原, 梁九清, & 郭春彦. (2015). 项目间语义可整合性对联结再认的影响--来自 ERPs 研究证据. *心理学报, 47*(4), 427-438.

王丽娟, & 李广政. (2014a). 动作记忆:记忆研究的新范畴. *心理科学进展, 22*(6), 953-958.

王丽娟, & 李广政. (2014b). 动作记忆 SPT 效应的理论探讨. *心理科学, 37*(4), 998-1001.

赵敏芳. (2015). *整合编码对联结再认的影响及其认知神经机制*. 博士学位论文. 中国科学院研究

生院.

赵敏芳, 傅小兰, 李开云, & Hubert D. Zimmer. (2020). 动作操作与怪异性对联结记忆的影响. *心理与行为研究，18*(2), 145-152.

郑志伟, 李娟, & 肖凤秋. (2015). 熟悉性能够支持联结记忆:一体化编码的作用. *心理科学进展, 23*(2), 202-212.

周宗泽, 贺金波, & 郭永玉. (2013). 记忆生存优势:心理机制及进化心理学解释. *心理研究, 6*(2), 3-8.

Addante, R. J., Ranganath, C., Olichney, J., & Yonelinas, A. P. (2012). Neurophysiological evidence for a recollection impairment in amnesia patients that leaves familiarity intact. *Neuropsychologia, 50*(13), 3004-3014.

Addis, D. R., Giovanello, K. S., Vu, M.-A., & Schacter, D. L. (2014). Age-related changes in prefrontal and hippocampal contributions to relational encoding. *NeuroImage, 84*, 19-26.

Aly, M., Knight, R. T., & Yonelinas, A. P. (2010). Faces are special but not too special: Spared face recognition in amnesia is based on familiarity. *Neuropsychologia, 48*(13), 3941-3948.

Bäckman, L., & Nilsson, L. G. (1984). Aging effects in free recall: An exception to the rule. *Human Learning: Journal of Practical Research and Applications, 3*(1), 53-69.

Bader, R., Mecklinger, A., Hoppstädter, M., & Meyer, P. (2010). Recognition memory for one-trial-unitized word pairs: evidence from event-related potentials. *NeuroImage, 50*(2), 772-781.

Cabeza, R. (2006). Prefrontal and medial temporal lobe contributions to relational memory in young and older adults. In H. D. Zimmer, A. Mecklinger，& U. Lindenberger (Eds.), *Handbook of binding and memory: Perspectives from cognitive neuroscience* (pp. 315-338). Oxford: Oxford University Press.

Cohen, R. L. (1981). On the generality of some memory laws. *Scandinavian Journal of Psychology, 22*(1), 267-281.

DeMaster, D., Pathman, T., & Ghetti, S. (2013). Development of memory for spatial context: Hippocampal and cortical contributions. *Neuropsychologia, 51*, 2415-2426.

Diana, R. A., Yonelinas, A. P., & Ranganath, C. (2007). Imaging recollection and familiarity in the medial temporal lobe: A three-component model. *Trends in Cognitive Sciences, 11*, 379-386.

Donaldson, D. I., & Rugg, M. D. (1998). Recognition memory for new associations:

Electrophysiological evidence for the role of recollection. *Neuropsychologia, 36*, 377-395.

Donaldson, D. I., & Rugg, M. D. (1999). Event-related potential studies of associative recognition and recall: Electrophysiological evidence for context dependent retrieval processes. *Cognitive Brain Research, 8*, 1-16.

Engelkamp, J. (1998). *Memory for actions*. Hove: Psychology Press.

Engelkamp, J., & Jahn, P. (2003). Lexical, conceptual and motor information in memory for action phrases: a multi-system account. *Acta Psychologica*, *113*(2), 147-165.

Engelkamp, J., & Perrig, W. (1986). Differential effects of imaginal and motor encoding on the recall of action phrases. *Archiv für Psychologie, 138*, 261-273.

Engelkamp, J., Seiler, K. H., & Zimmer, H. D. (2004). Memory for actions: Item and relational information in categorized lists. *Psychological research*, *69*(1), 1-10.

Engelkamp, J., Seiler, K. H., & Zimmer, H. D. (2005). Differential relational encoding of categorical information in memory for action events. *Memory and cognition*, *33*(3), 371-379.

Engelkamp, J., & Zimmer, H. D. (1984). Motor programme information as a separable memory unit. *Psychological research*, *46*(3), 283-299.

Engelkamp, J., Zimmer, H. D., & Biegelmann, U. E. (1993). Bizarreness effects in verbal tasks and subject-performed tasks. *European Journal of Cognitive Psychology*, *5*(4), 393-415.

Feyereisen, P. (2009). Enactment effects and integration processes in younger and older adults' memory for actions. *Memory, 17*(4), 374-385.

Foley, M. A., & Ratner, H. H. (2001). Structures in Activity Memory. Memory for Action: A Distinct Form of Episodic Memory? In H. D. Zimmer, R. L. Cohen, M. J. Guynn, J. Engelkamp, R. Kormi Nouri , & M. A. Foley (Eds.), *Memory for action: A distinct form of episodic memory?* (pp. 112-135). Oxford:Oxford University Press.

Giovanello, K. S., & Schacter, D. L. (2012). Reduced specificity of hippocampal and posterior ventrolateral prefrontal activity during relational retrieval in normal aging. *Journal of Cognitive Neuroscience, 24*, 159-170.

Graf, P., & Schacter, D. L. (1989). Unitization and grouping mediate dissociations in memory for new associations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 15*(5), 930-940.

Heil, M., Rolke, B., Engelkamp, J., Rosler, F., Ozcan, M., & Hennighausen, E. (1999). Event-related

brain potentials during recognition of ordinary and bizarre action phrases following verbal and subject-performed encoding conditions. *European Journal of Cognitive Psychology, 11*(2), 261-280.

Holdstock, J. S., Mayes, A. R., Gong, Q. Y., Roberts, N., & Kapur, N. (2005). Item recognition is less impaired than recall and associative recognition in a patient with selective hippocampal damage. *Hippocampus, 15*, 203-215.

Hunt, R. R., & Einstein, G. O. (1981). Relational and item-specific information in memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 20*(5), 497-514.

Jacoby, L. L. (1991). A process dissociation framework: Separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of Memory and Language, 30*(5), 513-541.

Kamp, S. M., & Zimmer, H. D. (2015). Contributions of attention and elaboration to associative encoding in young and older adults. *Neuropsychologia*, *75*, 252-264.

Kormi-Nouri, R. (1995). The nature of memory for action events: An episodic integration view. *European Journal of Cognitive Psychology, 7*(4), 337-363.

Kormi-Nouri, R., & Nilsson, L.-G. (1998). The role of integration in recognition failure and action memory. *Memory and Cognition, 26*(4), 681-691.

Leynes, P. A., & Bink, M. L. (2002). Did I do that? An ERP study of memory for performed and planned actions. *International Journal of Psychophysiology, 45*(3), 197-210.

Leynes, P. A., Crawford, J., & Bink, M. (2005). Interrupted actions affect output monitoring and event-related potentials (ERPs). *Memory*, *13*(7), 759-772.

Leynes, P. A., Grey, J. A., & Crawford, J. T. (2006). Event-related potential (ERP) evidence for sensory-based action memories. *International Journal of Psychophysiology, 62*(1), 193-202.

Leynes, P. A., & Kakadia, B. (2013). Variations in retrieval monitoring during action memory judgments: Evidence from event-related potentials (ERPs). *International Journal of Psychophysiology, 87*(2), 189-199.

Li, G., & Wang, L. (2015). The effects of encoding modality and object presence on event-based prospective memory in seven- to nine-year-old children. *Journal of Cognitive Psychology, 27*(6), 725-738.

Li, R., Zhu, X., Yin, S., Niu, Y., Zheng, Z., Huang, X., Wang, B., & Li, J. (2014). Multimodal intervention in older adults improves resting-state functional connectivity between the medial

prefrontal cortex and medial temporal lobe. *Frontiers in Aging Neuroscience, 6*(2), Article 39.

Liesefeld, H. R., Liesefeld, A. M., & Zimmer, H. D. (2016). Recollection is delayed under changed viewing conditions: A graded effect on the latency of the late posterior component. *Psychophysiology, 53*(12), 1811.

Macedonia, M., & Knösche, T. R. (2011). Body in mind: How gestures empower foreign language learning. *Mind, Brain, and Education, 5*(4), 196-211.

Masumoto, K., Yamaguchi, M., Sutani, K., Tsuneto, S., Fujita, A., & Tonoike, M. (2006). Reactivation of physical motor information in the memory of action events. *Brain Research, 1101*(1), 102-109.

Mayes, A., Montaldi, D., & Migo, E. (2007). Associative memory and the medial temporal lobes. *Trends in Cognitive Sciences, 11*, 126-135.

McDaniel, M., & Bugg, J. (2008). Instability in memory phenomena: A common puzzle and a unifying explanation. *Psychonomic Bulletin and Review, 15*(2), 237-255.

Mecklenbräuker, S., Steffens, M. C., Jelenec, P., & Goergens, N. K. (2011). Interactive context integration in children? Evidence from an action memory study. *Journal of Experimental Child Psychology, 108*(4), 747-761.

Mecklinger, A. (2000). Interfacing mind and brain: a neurocognitive model of recognition memory. *Psychophysiology, 37*(05), 565-582.

Naveh-Benjamin, M. (2000). Adult age differences in memory performance: tests of an associative deficit hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 26*(5), 1170-1187.

Naveh-Benjamin, M., Brav, T. K., & Levy, O. (2007). The associative memory deficit of older adults: the role of strategy utilization. *Psychology and aging, 22*(1), 202-208.

Nilsson, L.-G. (2000). Remembering actions and words. In F. I. M.Craik & E. Tulving (Eds.), *The Oxford handbook of memory* (pp. 137–148). Oxford: Oxford University Press.

Nilsson, L.-G., & Kormi-Nouri, R. (2001). What Is the Meaning of a Memory-System Approach. In H. D. Zimmer, R. L. Cohen, M. J. Guynn, J. Engelkamp, R. Kormi Nouri , & M. A. Foley (Eds.), *Memory for action: A distinct form of episodic memory?* (pp. 136–143). Oxford:Oxford University Press.

Nyberg, L., Petersson, K. M., Nilsson, L.-G., Sandblom, J., Åberg, C., & Ingvar, M. (2001).

Reactivation of motor brain areas during explicit memory for actions. *NeuroImage, 14*(2), 521-528.

Old, S. R., & Naveh-Benjamin, M. (2008). Differential effects of age on item and associative measures of memory: a meta-analysis. *Psychology and Aging, 23*(1), 104-118.

Opitz, B. (2010). Neural binding mechanisms in learning and memory. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 34*, 1036–1046.

Paller, K. A., Voss, J. L., & Boehm, S. G. (2007). Validating neural correlates of familiarity. *Trends in Cognitive Sciences, 11*(6), 243-250.

Rhodes, S. M., & Donaldson, D. (2007). Electrophysiological evidence for the influence of unitization on the processes engaged during episodic retrieval: Enhancing familiarity based remembering. *Neuropsychologia, 45*(2), 412-424.

Rhodes, S. M., & Donaldson, D. (2008). Electrophysiological evidence for the effect of interactive imagery on episodic memory: Encouraging familiarity for non-unitized stimuli during associative recognition. *NeuroImage, 39*(2), 873-884.

Roediger III, H. L., & Zaromb, F. M. (2010). Memory for actions: How different? In L. Bäckman & L. Nyberg (Eds.), *Memory, aging and the brain–A festschrift in honour of LarsGöran Nilsson* (pp. 24–52). New York, NY: Psychology Press.

Rugg, M. D., & Curran, T. (2007). Event-related potentials and recognition memory. *Trends in Cognitive Sciences, 11*(6), 251-257.

Senkfor, A. J. (2008). Memory for pantomimed actions versus actions with real objects. *Cortex, 44*(7), 820-833.

Senkfor, A. J., Van Petten, C., & Kutas, M. (2002). Episodic action memory for real objects: An ERP investigation with perform, watch, and imagine action encoding tasks versus a non-action encoding task. *Journal of Cognitive Neuroscience, 14*(3), 402-419.

Senkfor, A. J., Van Petten, C., & Kutas, M. (2008). Enactment versus conceptual encoding: Equivalent item memory but different source memory. *Cortex, 44*(6), 649-664.

Steffens, M. C., Jelenec, P., & Mecklenbräuker, S. (2009). Decomposing the memory processes contributing to enactment effects by multinomial modelling. *European Journal of Cognitive Psychology, 21*(1), 61-83.

Steffens, M. C., Jelenec, P., Mecklenbräuker, S., & Marie Thompson, E. (2006). Decomposing retrieval

and integration in memory for actions: A multinomial modeling approach. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 59*(3), 557-576.

Troyer, A. K., Murphy, K. J., Anderson, N. D., Craik, F. I. M., Moscovitch, M., Maione, A., & Gao, F. Q. (2012). Associative recognition in mild cognitive impairment: Relationship to hippocampal volume and apolipoprotein E. *Neuropsychologia, 50*, 3721–3728.

Tsivilis, D., Vann, S. D., Denby, C., Roberts, N., Mayes, A. R., Montaldi, D., & Aggleton, J. P. (2008). A disproportionate role for the fornix and mammillary bodies in recall versus recognition memory. *Nature Neuroscience, 11*(7), 834-842.

Tulving, E. (1985). Memory and consciousness. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne, 26*(1), 1-12.

Yonelinas, A., Kroll, N., Dobbins, I., & Soltani, M. (1999). Recognition memory for faces: When familiarity supports associative recognition judgments. *Psychonomic Bulletin & Review, 6*(4), 654-661.

Yonelinas, A. P. (2002). The Nature of Recollection and Familiarity: A Review of 30 Years of Research. *Journal of Memory and Language, 46*(3), 441-517.

Zhao, M.-F., Zimmer, H. D., Zhou, X., & Fu, X. (2016). Enactment supports unitisation of action components and enhances the contribution of familiarity to associative recognition. *Journal of Cognitive Psychology, 28*(8), 932-947.

Zheng, Z., Li, J., Xiao, F., Ren, W., & He, R. (2016). Unitization improves source memory in older adults: An event-related potential study. *Neuropsychologia, 89*, 232-244.

Zimmer, H. D. (2001). Why do actions speaker louder than words? Action memory as a variant of encoding manipulations or as a result of a specific memory system? In H. D. Zimmer, R. L. Cohen, M. J. Guynn, J. Engelkamp, R. Kormi Nouri, & M. A. Foley (Eds.), *Memory for Action. A Distinct Form of Episodic Memory?* (pp. 151-198). New York: Oxford University Press.

Zimmer, H. D., & Cohen, R. L. (2001). Remembering actions: A specific type of memory? In H. D. Zimmer, R. L. Cohen, M. J. Guynn, J. Engelkamp, R. Kormi Nouri, & M. A. Foley (Eds.), *Memory for action: A distinct form of episodic memory?* (pp. 3-24). New York: Oxford University Press.

Zimmer, H. D., & Ecker, U. K. (2010). Remembering perceptual features unequally bound in object

and episodic tokens: Neural mechanisms and their electrophysiological correlates. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 34*(7), 1066-1079.

Zimmer, H. D., & Engelkamp, J. (1985). An attempt to distinguish between kinematic and motor memory components. *Acta Psychologica, 58*(1), 81-106.

Zimmer, H. D., Helstrup, T., & Engelkamp, J. (2000). Pop-out into memory: A retrieval mechanism that is enhanced with the recall of subject-performed tasks. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 26*(3), 658-670.

Zimmer, H. D., Helstrup, T., Nilsson, L.-G., Helstrup, T., & Magnussen, S. (2007). Action-events in everyday life and their remembering. In T. Helstrup & S. Magnussen (Eds.) *Everyday memory* (pp. 57-92). London, Psychology Press-Routledge.

The Cognitive and Neural Mechanisms of Enactment Effect in Associative memory

Zhao Min-Fang[1], Fu Xiaolan[2,3]

(1 School of Education Science, Huizhou University, Huizhou 516007;

2 State Key Laboratory of Brain and Cognitive Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101; 3 Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract

Research have demonstrated that memory for actions is usually better following subject-performed tasks (SPT) than verbal tasks (VT) in recognition memory tasks. This superiority of SPT over VT is known as the “enactment effect” or the “SPT effect”. Previous evidence for this SPT effect in recognition memory is mostly based on item recognition, recent research for the first time demonstrated that enactment can also improve associative recognition of verb and object. Our research aims to investigate the underlying mechanisms of enactment effect in associative memory. Combining ERP, Eye-tracking and the online combination of these two techniques, this research will examine associative memory by using episodic priming, cue recognition and associative recognition paradigms under SPT and VT encodings. This research will deepen our understanding of how enactment enhances action memory and also of the role of

unitization in associative memory and advance both lines of research and theories of memory. This research also promises practical progress of improving human learning and memory especially associative memory.

Keywords: memory for action; associative memory; enactment; SPT effect; memory retrieval